

LAPORAN PENELITIAN
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI



**PENGEMBANGAN SIMULATOR BERBASIS MATLAB UNTUK PEMBELAJARAN
PRAKTIK KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI TIGA FASE**

Disusun oleh :

Dr. Muchlas, M.T.
NIP 19620218 1987 02 1001

Program Studi Teknik Elektro.
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
Desember, 2016

PENELITIAN INI DILAKSANAKAN ATAS BIAYA
ANGGARAN PENDAPATAN DAN BELANJA UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
NOMOR KONTRAK : PUPS/50/LPP-UAD/III/2016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, atas hidayah dari Allah Swt, laporan penelitian ini dapat diselesaikan sesuai target yang ditentukan. Kebutuhan akan perangkat praktik yang fleksibel, efisien dan aman di lingkungan program studi teknik elektro, baik untuk program akademik maupun vokasi, telah mendorong dilakukannya penelitian ini. Melalui studi ilmiah ini telah dihasilkan sebuah simulator yang dapat digunakan sebagai perangkat praktik yang valid, fleksibel dan efisien untuk menyelidiki karakteristik motor induksi tiga fase berbasis pemrograman MATLAB.

Melalui kesempatan ini, atas bantuan yang telah diberikan, peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada: (1) Rektor Universitas Ahmad Dahlan (UAD) yang telah menyediakan dana penelitian; (2) Kepala Lembaga Penelitian dan Pengembangan UAD atas rekomendasi yang diberikan; (3) bapak Rusydi Umar, Ph. D., bapak Sunardi, Ph. D. dan bapak Riky Dwi Puriyanto, S.T., M.Eng. atas kesediannya menjadi *tester* pada uji *black box*; (4) para mahasiswa program studi Teknik Elektro UAD semester ke-6 dan ke-7 yang telah bersedia menjadi subjek penelitian ini. Semoga Allah Swt memberikan imbalan pahala yang berlipat ganda terhadap bantuan yang telah diberikan.

Disadari sepenuhnya bahwa penelitian ini masih belum sempurna, untuk itu saran dari semua pihak sangat dinanti kedatangannya. Akhirnya peneliti berharap semoga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai hahan pertimbangan dalam usaha-usaha peningkatan kualitas pendidikan teknik di Indonesia.

Yogyakarta, Desember 2016

Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Identitas dan Pengesahan	ii
Surat Pernyataan Telah Revisi	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Lampiran	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
Abstrak	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Pengembangan	4
D. Spesifikasi Produk yang Diharapkan	5
E. Pentingnya Pengembangan	6
F. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan	7
G. Definisi Istilah	8
BAB II. LANDASAN TEORI	9
A. Kajian Teori	9
1. Motor Induksi Tiga Fase	9
2. Teknik Simulasi Motor Induksi Tiga Fase	18
3. Simulator Motor Induksi Berbasis SIMULINK	20
4. Simulator Sebagai Media Pembelajaran	22
5. Mata Kuliah Mesin Listrik Dasar	25
B. Kajian Penelitian Terdahulu	25

C. Kerangka Berpikir Pengembangan	28
D. Pertanyaan Penelitian	29
BAB III. METODE PENGEMBANGAN	30
A. Model Pengembangan	30
B. Prosedur Pengembangan	31
C. Uji Coba Produk	32
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
A. Produk Penelitian	37
1. Simulator MOTORSIM®	37
2. Perangkat Pendukung Praktik	39
B. Data Uji Coba	40
C. Analisis Data	44
1. Validitas dan Kesesuaian Spesifikasi Produk	44
2. Fungsionalitas GUI (<i>graphycal user interface</i>)	48
3. Persepsi Pengguna	49
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
1. Kesimpulan	52
2. Saran	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Instrumen <i>Black Box Testing</i> Untuk Uji Fungsionalitas Simulator Motor Induksi Tiga Fase Berbasis Matlab	58
Lampiran 2. Instrumen Persepsi Subjek Penelitian Terhadap Aspek Tampilan dan Aspek Instruksional Simulator Motor Induksi Tiga Fase Berbasis Matlab	63
Lampiran 3. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 215 HP	65
Lampiran 4. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 150 HP	66
Lampiran 5. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 100 HP	67
Lampiran 6. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 50 HP	68
Lampiran 7. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 20 HP	69
Lampiran 8. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 10 HP	70
Lampiran 9. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> Pada Motor 5 HP	71
Lampiran 10. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 215 HP	72
Lampiran 11. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 150 HP	73
Lampiran 12. Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 100 HP	74

Lampiran 13.	Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 50 HP	75
Lampiran 14.	Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 20 HP	76
Lampiran 15.	Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 10 HP	77
Lampiran 16.	Perbandingan Output MOTORSIM© Dengan Output SIMULINK Untuk Mode Operasi <i>Ramp-up Supplied</i> Pada Motor 5 HP	78
Lampiran 17.	Panduan Pengoperasian Motorsim© Simulator Motor Induksi Tiga Fase	79
Lampiran 18.	Percobaan Karakteristik Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Simulator Motorsim©	88
Lampiran 19.	Salinan Kontrak Penelitian	91

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Spesifikasi Simulator Yang Dikembangkan	6
Tabel 2. Nilai Basis Untuk Besaran-Besaran Pada Motor Induksi 3-Fase	12
Tabel 3. Parameter Motor Induksi Tiga Fase Dalam Satuan pu	12
Tabel 4. Dukungan Simulator Terhadap Pencapaian Tujuan Pendidikan Teknik	24
Tabel 5. Subjek penelitian untuk uji perbandingan antara MOTORSIM© dan SIMULINK	32
Tabel 6. Kelengkapan Uji Coba Kebermanfaatan Simulator Untuk Subjek	36
Tabel 7. Perangkat Pendukung Praktik Karakteristik Motor Induksi Tiga Fase	39
Tabel 8. Data Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Hasil Simulasi Menggunakan MOTORSIM© (A) dan SIMULINK (B) Ditinjau Dari Parameter Karakteristiknya Untuk Mode <i>Direct Online Supplied</i>	40
Tabel 9. Data Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Hasil Simulasi Menggunakan MOTORSIM© (A) dan SIMULINK (B) Ditinjau dari Parameter Karakteristiknya Untuk Mode <i>Ramp-Up Supplied</i>	41
Tabel 10. Data Uji Fungsionalitas GUI Simulator Melalui <i>Black Box Testing</i>	42
Tabel 11. Data Persepsi Subjek Penelitian Terhadap Penggunaan Simulator dengan Jumlah Skor Maksimum Tiap Aspek 76 Poin dan Skor Maksimum Semua Aspek 836 Poin	43
Tabel 12. Perbedaan Penyimpangan Parameter Karakteristik Motor Induksi Tiga Fase Hasil Simulasi dengan MOTORSIM© dan SIMULINK untuk Mode <i>Direct Online Supplied</i>	44
Tabel 13. Perbedaan Penyimpangan Parameter Karakteristik Motor Induksi Tiga Fase Hasil Simulasi dengan MOTORSIM© dan SIMULINK untuk Mode <i>Ramp-Up Supplied</i>	45
Tabel 14. Pandangan <i>Tester</i> Pada Uji <i>Black Box</i>	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. (a) Rangkaian Ekvivalen <i>Steady-State</i> ; (b) Rangkaian Ekvivalen Pendekatan Setiap Fase	9
Gambar 2. (a) Karakteristik Torsi Elektromagnetik Versus <i>Slip</i> Setiap Fase Hasil Simulasi Menggunakan Persamaan (5), (b) Karakteristik Arus Stator Hasil Simulasi Persamaan (6)	11
Gambar 3. Karakteristik Torsi dan Arus Stator Motor Induksi dalam pu	13
Gambar 4. Ilustrasi Kerangka Referensi Berputar dengan Sumbu-Sumbu dq	14
Gambar 5. Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Tiga Fase dalam Model dq	15
Gambar 6. Pengendali Tegangan Motor Induksi 3-Fase: (a) Konfigurasi <i>Back to Back</i> dari Thyristor, (b) Rangkaian Ekvivalen Saklar	16
Gambar 7. Prosedur Komputasi: (a) Mekanisme Kerja Solver ODE45, dan (b) <i>Flow Chart</i> Komputasi	19
Gambar 8. Motor Induksi Tiga Fase Dicatu Secara Langsung: (a) Disain dalam Lingkungan SIMULINK, dan (B) Hasil Simulasi untuk Karakteristik Arus Stator	21
Gambar 9. Karakteristik Motor Induksi Tiga Fase Hasil Simulasi Menggunakan SIMULINK: (a) Kecepatan Putar Rotor, (b) Torsi Elektromagnetik	21
Gambar 10. Kerangka Berpikir Pengembangan	28
Gambar 11. Model Konseptual Produk Simulator yang Dikembangkan	30
Gambar 12. Penentuan I_{ssu} dan t_{st} serta T_{em} , t_{Tem} dan t_{Temt} pada Grafik I_s Fungsi Waktu (kiri) dan Grafik T_e Fungsi Waktu (kanan)	34
Gambar 13. Penentuan ω_r , dan t_{ort} pada Grafik T_e Fungsi Waktu	34
Gambar 14. Bentuk/Tampilan MOTORSIM [®] yang Dihasilkan Saat Pertama Dijalankan	37
Gambar 15. Bentuk/Tampilan MOTORSIM [®] yang Dihasilkan Saat Komputasi Dilakukan	38
Gambar 16. Output MOTORSIM [®] Untuk <i>Voltage Source</i> (kiri) dan <i>Stator Current</i> (kanan)	38
Gambar 17. Output MOTORSIM [®] untuk <i>Electromagnetic Torque</i> (kiri) dan <i>Rotor Speed</i> (kanan)	39

Gambar 18.	Fenomena Osilasi pada Karakteristik Torsi Elektromagnetik Hasil Simulasi Menggunakan MOTORSIM [®] (kiri) dan Hasil Simulasi SIMULINK (kanan)	45
Gambar 19.	Perbandingan Output MOTORSIM [®] dengan Output SIMULINK Mode Operasi <i>Direct Online Supplied</i> untuk Motor 150 HP	46
Gambar 20.	Perbandingan Output MOTORSIM [®] dengan Output SIMULINK Mode Operasi <i>Ramp-Up Supplied</i> untuk Motor 150 HP	47
Gambar 21.	Persepsi Subjek Terhadap Tampilan Produk	49
Gambar 22.	Persepsi Subjek Terhadap Taspek Instruksional Produk	50

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SIMULATOR BERBASIS MATLAB UNTUK PEMBELAJARAN PRAKTIK KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI TIGA FASE

Muchlas

Pembelajaran praktik mesin-mesin listrik induksi berdaya tinggi memerlukan biaya besar dan mengandung resiko terjadinya kerusakan pada mesin-mesin tersebut untuk frekuensi penggunaan terus-menerus. Penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan produk berupa simulator motor induksi tiga fase berbasis pemrograman MATLAB yang dapat digunakan sebagai perangkat praktik yang valid, efisien, fleksibel dan aman untuk materi pembelajaran mesin-mesin listrik berdaya tinggi. Melalui penelitian ini juga ingin diperoleh informasi tentang persepsi pengguna terhadap simulator dan dampak pembelajarannya sebagai perangkat praktik.

Prosedur pengembangan produk pada penelitian ini meliputi: analisis kebutuhan, eksplorasi referensi, penentuan model persamaan diferensial motor induksi, penetapan spesifikasi, perancangan antarmuka dan komputasi, serta evaluasi produk. Validitas produk dilakukan dengan membandingkan parameter karakteristik hasil simulasi dari produk yang dikembangkan dengan hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Subjek ujicoba ini adalah motor induksi tiga fase sebanyak tujuh jenis yang dioperasikan pada mode *direct on line supplied* dan *ramp-up supplied*. Hasil simulasi dinyatakan sama apabila persentase perbedaan parameter dari karakteristik yang dihasilkan keduanya kurang dari 5%. Fungsionalitas dari panel-panel simulator diuji menggunakan *black box testing* oleh tiga orang yang dipandang independen dan memiliki kompetensi dalam bidang teknik elektro dan rekayasa perangkat lunak. Data-data uji fungsionalitas produk berupa skor pandangan *tester* tentang kesesuaian output produk terhadap input yang diberikan, dan diperoleh melalui instrumen lembar observasi. Semua panel simulator dinyatakan berfungsi dengan baik apabila semua *tester* menyatakan sesuai untuk semua aspek yang diuji. Persepsi subjek sebanyak 19 orang mahasiswa teknik elektro, digali menggunakan kuesioner dan ketuntasan belajar subjek menggunakan lembar jawab praktik. Persepsi dan ketuntasan belajar dinyatakan baik apabila persentasenya lebih besar dari 60%, yang menunjukkan produk yang dikembangkan dapat dimanfaatkan sebagai perangkat praktik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk simulator yang dikembangkan dapat menampilkan karakteristik motor induksi tiga fase sesuai dengan hasil simulasi SIMULINK, dan semua panel yang tersedia dapat berfungsi dengan baik. Subjek penelitian memberikan persepsi yang positif terhadap aspek tampilan (81%) maupun aspek instruksional (82,2%) produk yang dikembangkan. Penerapan produk simulator yang dikembangkan sebagai perangkat praktik dapat memberikan ketuntasan belajar yang baik (84%) pada pembelajaran praktik tentang karakteristik motor induksi tiga fase.

Kata kunci: pengembangan, simulator berbasis MATLAB, pembelajaran praktik, karakteristik motor induksi tiga fase

ABSTRACT

DEVELOPING A MATLAB-BASED SIMULATOR FOR PRACTICAL WORK OF THE THREE-PHASE INDUCTION MOTOR CHARACTERISTICS

Muchlas

The practical work of the induction electrical machinery of high power are costly and can pose a risk of damage to the machine used repeatedly. This research is aimed to produce the three-phase induction motor simulator based on MATLAB programming, which can be used validly, efficiently, flexibly and safely as a tool for practical work of high power electric machines. This research will also obtain the user's perception of the simulator and the impact on learning as a practical work tool.

Product development procedures in this research include: needs analysis, references exploration, determination of the induction motor's differential equations model, determination of specifications, interface design and computing, as well as product evaluation. The validity of the product is done by comparing the parameters of the characteristic resulted from the product developed with the simulation results using SIMULINK. The subject's test is seven units of the three-phase induction motors operated using the direct on line and the ramp-up supplied modes. The simulation results are concluded the same when the percentage of the parameter difference of characteristic that is produced from both modes is less than 5%. The functionality of the simulator panels was tested using black box testing by three people considered independent and have competence in the electrical engineering and software engineering field. The data of the product functionality test are the score from the tester's perception of the conformity of the desired output to the given input, and it is obtained through observation sheet. All panels of the simulator are considered having a proper function if all testers gave a suitable perception to all aspects of the test. Subject's perception from the 19 students of Electrical Engineering was obtained by using questionnaires and mastery learning subject using the worksheet. The perception and mastery learning were considered good if the percentage is more than 60%, which shows that the product developed can be used as a tool for practical work.

The results of this research showed that the simulator product developed can display the characteristics of a three-phase induction motor in accordance with the simulation results using SIMULINK, and the functionality of all available panels can function properly. The subject of this research gave the positive perception of both the appearance (81%) and instructional (82.2%) of the product developed aspects. Application of the simulator product developed as a practical work tool can provide a good result (84%) of the mastery learning of the subject.

Keywords: developing, MATLAB-based simulator, practical work, three-phase induction motor characteristic